

3 Estudio de caso: el barrio Primero de Mayo de Bogotá

Rolando Arturo
Cubillos-González

Francisco Javier
Novegil-González-Anleo

Introducción 3	72
Descripción del barrio Primero de Mayo y método a aplicar en su estudio.....	73
Descripción metodología a utilizar en el estudio de caso.....	80
Resultados de la fase cualitativa	84
Resultados de la fase cuantitativa	86
Análisis ciclo de vida de los materiales del barrio Primero de Mayo.....	91

Introducción 3

El propósito de este capítulo es proponer un modelo básico que contenga los criterios de resiliencia de edificaciones, y que responda al cambio climático en un área urbana de Bogotá. Para ello se seleccionó un área de vivienda en Bogotá que permitió un estudio de caso.

El capítulo se divide en cuatro partes. En la primera parte se describe brevemente la prueba piloto para la evaluación de la habitabilidad que servirá al diseño de territorios resilientes. La segunda parte explica los resultados parciales y posibles aplicaciones futuras del piloto propuesto. La tercera parte expone los resultados del experimento y sus posibles orientaciones hacia la eficiencia territorial, a partir del factor de resiliencia.



Figura 1. Barrio Primero de Mayo.

Descripción del barrio Primero de Mayo y método a aplicar en su estudio



Figura 2. Vivienda original con pequeñas modificaciones.
Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 3. Vivienda original con cambio de materiales e intervención en el antejardín.
Fuente: Javier Novegil (2015).

Para el diseño del modelo básico de criterios de resiliencia, se realizó un estudio experimental en dos etapas. La primera etapa del experimento consistió en seleccionar una pequeña área urbana, que podría observarse en su totalidad, y donde es posible aplicar todas las variables del estudio a la vez. Por esta razón fue elegido el barrio Primero de Mayo (ver figura 1, página anterior). El barrio es un importante hábitat urbano en la ciudad, se encuentra en la Localidad Cuarta de Bogotá y está compuesto por 11 manzanas.

La Alcaldía Mayor de Bogotá ha clasificado al barrio como Patrimonio Cultural de la ciudad. Este hábitat tiene algunos valores urbanos que representan un importante ejemplo de planificación y urbanismo en Bogotá. Sin embargo, actualmente el barrio sufre una serie de adaptaciones por parte de los usuarios que comprometen su sostenibilidad.

De acuerdo con el capítulo dos, el trabajo de campo consistió en evaluar, de manera preliminar, las variables del modelo de habitabilidad propuesto para ser aplicadas en el barrio. Recordemos que un factor importante para el análisis de la resiliencia es la habitabilidad.

En el trabajo de campo, las 11 manzanas del barrio fueron analizadas. El estudio identificó que el material es un mediador entre las condiciones interiores y exteriores de los edificios (ver figura 2), porque los materiales regulan las condiciones del aire, con el fin de garantizar un buen confort a los usuarios de un edificio. En el barrio Primero de Mayo se observa que los materiales utilizados no tienen un buen ciclo de vida (ver figura 3), ya que los usuarios han realizado muchos cambios en los edificios y materiales, mezclándolos indiferentemente sin considerar el proceso de ciclo de vida (ver figuras 4 y 5).

Este tipo de adaptaciones hace insostenible la calidad y el confort del barrio en el tiempo (ver figura 6). La Alcaldía Mayor de Bogotá, mediante sus diferentes planes de ordenamiento territorial (POT), ha regulado el barrio como Patrimonio Cultural, pero ese tipo de leyes no ha impedido que las adaptaciones de los usuarios se realicen (ver figuras 7 a 9 de la página siguiente). Además, se observa que las condiciones climáticas actuales afectan los edificios y causan algunos problemas de humedad.

Este problema fue observado en 75% de los edificios. Es más común en las calles principales, como la Avenida Primero de Mayo y la carrera Sexta. También, se observó que en estas calles se transformó el uso de los edificios, pasando de ser viviendas a usos comerciales. En el barrio, aunque el proceso de adaptación se llevará a cabo en un período más largo, cambiará el paisaje tradicional. La hoja de datos muestra que no existe una relación entre todas las variables del modelo de habitabilidad. Por ejemplo, la variable tecnología dista mucho de la variable de entorno, eso explica las observaciones en el trabajo de campo. El material mezcla algunos otros problemas, como las enfermedades respiratorias. El estudio no profundizó en la salud, por lo tanto, es importante desarrollar un estudio médico sobre el tema.



Figura 4. Vivienda original con modificaciones, cambio de uso y cambio de materiales.

Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 5. Vivienda original con pequeñas modificaciones.

Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 6. Viviendas con cambio de uso y ampliaciones en sus antejardines.

Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 7. Modificación total de la vivienda original y cambio de los materiales.
Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 10. Dos tipos de cambios en la vivienda original.
Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 8. Transformación de las viviendas e introducción de nuevos materiales.
Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 11. Detalle de los cambios en las viviendas originales.
Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 9. Modificación de la vivienda original y cambio de los materiales.
Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 12. Transformación y densificación de la vivienda.
Fuente: Javier Novegil (2015).

Respecto al cambio del perfil urbano original, en la figura 13 se observa el cambio de perfil del barrio, el cual ha sido remplazado por una imagen más común que se observa en otros los barrios populares de la ciudad. Asimismo, se evidencia la necesidad de densificar el lote. Al respecto, se observa una subdivisión de la propiedad individual de la edificación, siendo remplazada por propiedad horizontal. Es decir, se pasa de una vivienda unifamiliar a viviendas multifamiliares.

Sin embargo, se observa que aún permanecen viviendas originales con cambios mínimos en el antejardín. En la figura 14 se observa este fenómeno. Esto es debido a que, según lo estudiado, aún permanecen familias originales que pretenden mantener la imagen original de sus viviendas, introduciendo cambios menores en las zonas de sesión.

Por otro lado, en otros sectores del barrio, en especial en la manzana 3, se observa la destrucción total de la tipología original (ver plano de localización de la manzana en la figura 1). Al respecto, en la figura 15 se observa cómo se ha destruido completamente la vivienda original y se ha remplazado por una vivienda densificada, que incluye usos mixtos, introduciendo un local comercial a un costado del antejardín. La vivienda ha perdido toda la calidad habitacional. En la figura 15 se evidencian problemas de iluminación, mezcla de materiales y el remplazo de una estructura racional por una intuitiva y arbitraria.



Figura 13. Cambio del perfil urbano original.
Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 14. Vivienda original con cambios mínimos en el antejardín.
Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 15. Destrucción total de la tipología original.
Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 16. Perfil urbano con diferentes modificaciones.
Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 17. Casa original en entorno modificado.
Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 18. Utilización de nuevos materiales.
Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 19. Modificación total del perfil urbano, introducción de nuevos materiales y sistemas tecnológicos.
Fuente: Javier Novegil (2015).

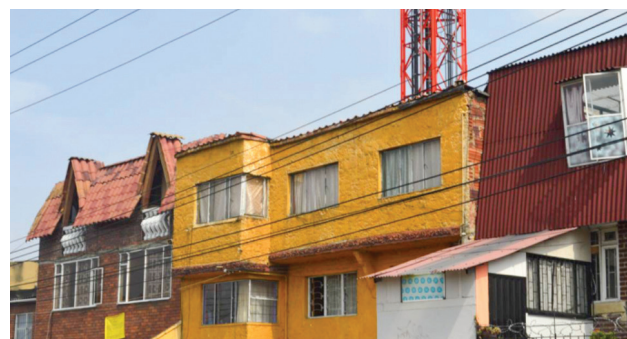


Figura 20. Cambio de la fachada, ocupación del antejardín e introducción de nuevos materiales.
Fuente: Javier Novegil (2015).

Las manzanas 1, 2 y 3 del barrio (ver localización en la figura 1) aun permiten la convivencia de viviendas originales junto a viviendas transformadas. En la figura 21 se muestra la variedad en el perfil urbano y cómo las viviendas originales van siendo absorbidas por los cambios generales que se presentan en el barrio. La introducción de materiales diferentes a los originales evidencian la introducción de problemas de humedad en las viviendas.

Por otro lado, se observa el intento de los habitantes de realizar transformaciones y mantener de alguna manera la imagen original de las viviendas. En la figura 22 se observa la transformación lateral de una vivienda original. La transformación consiste en la ampliación del área de primer y segundo piso manteniendo los materiales originales y el tipo de cubierta propuesto.

En la figura 23 se observa hacia el interior de la manzana 3 el cambio en el perfil urbano original por uno más moderno. Hacia el centro izquierdo de la ilustración se observa la densificación interna de la manzana por edificaciones de tres pisos con materiales diferentes a los existentes. Se destaca la introducción de vidrio y metal. Asimismo, los enrejados se convierten en patrón común en todos los antejardines.



Figura 21. Viviendas originales junto a viviendas transformadas.
Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 22. Vivienda original con transformación lateral.
Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 23. Cambio en el perfil urbano original.
Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 24. Cambio en el perfil urbano.
Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 27. Transformaciones en la vivienda original.
Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 25. Vivienda original.
Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 28. Cambio en la tipología de la vivienda.
Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 26. Vivienda original junto a viviendas transformadas.
Fuente: Javier Novegil (2015).



Figura 29. Nuevos materiales y transformación total de las viviendas.
Fuente: Javier Novegil (2015).

Descripción de la metodología a utilizar en el estudio de caso

El método utilizado para desarrollar la primera etapa del piloto fue de carácter cualitativo-cuantitativo, y se desarrolló de la siguiente manera:

1. Fase cualitativa: primero se desarrolló un diseño no experimental, con una técnica de observación directa en campo. Para ello, se organizó un equipo de trabajo que fue al barrio Primero de Mayo, en donde se observaron las siguientes variables propuestas por el modelo de habitabilidad: calidad de la edificación, calidad de vida, flexibilidad y patrones sociales. Con esta técnica se buscó observar las variables propuestas y su posible relación en el contexto natural. Además, la primera fase del estudio se centró en analizar cuál era el nivel o estado de las variables de estudio, en un momento dado. El objetivo era controlar el fenómeno a estudiar, para ello emplea el razonamiento hipotético-deductivo. Asimismo, se emplearon muestras representativas y el uso de técnicas de diseño experimental, como estrategia de control y metodología cuantitativa para analizar los datos (Cubillos, 2015).
2. Fase cuantitativa: para validar las percepciones obtenidas en campo, se emplearon unas muestras representativas y el uso de técnicas de diseño experimental como estrategia de control y metodología cuantitativa para analizar los datos. A continuación, se desarrolló un diseño de experimento aleatorio, por medio de la simulación, para identificar posibles escenarios de acción. Para ello, con los datos recolectados en la etapa no experimental se realizó un muestreo aleatorio simple, con el cual se simulaban posibles escenarios para la solución de los efectos de las variables sobre el contexto de estudio. En este ejercicio se manipularon deliberadamente

Tabla 1. Diseño factorial fase 1 adaptado al español.

Habitabilidad										
		Flexibilidad (Factor 3)					Patrones sociales (Factor 4)			
Calidad del edificio (Factor 1)	ITEM		Material B1	Eficiencia en el consumo de recursos B2			Bajo consumo energético C1		Salud C2	
	Tecnología	A1	Habitabilidad B1)	(A1, Habitabilidad B2)	(A1, Habitabilidad B2)	(A1, Habitabilidad B2)	Habitabilidad C1)	(A1, C1)	Habitabilidad C2)	(A1, C2)
Calidad de vida (Factor 2)	Ambiente	A2	Habitabilidad B1)	(A2, Habitabilidad B2)	(A2, Habitabilidad B2)	(A2, Habitabilidad B2)	Habitabilidad C1)	(A2, C1)	Habitabilidad C2)	(A2, C2)

Fuente: Cubillos, 2015, p. 120.

las variables de estudio, observadas en el trabajo de campo, para identificar las posibles relaciones entre las causas del fenómeno de estudio y medir el efecto que tienen las variables del modelo de habitabilidad en el contexto analizado (Cubillos, 2015).

En la fase cualitativa, la metodología propuesta enfocó su análisis en las relaciones entre las características de las variables independientes: calidad de los edificios, calidad de vida, flexibilidad y patrones sociales. El análisis factorial identificó que, para la interacción de las cuatro variables independientes, era necesario el diseño de una matriz de dos niveles. La matriz permitió determinar el grado de relación de las diferentes variables del modelo de habitabilidad.

En este caso, se identificó que la construcción del factor de habitabilidad se relaciona con la forma y el uso del espacio de un hábitat urbano. Los componentes seleccionados para caracterizar la habitabilidad fueron: calidad de los edificios, calidad de vida, flexibilidad y patrones sociales. El primer paso es identificar el grado de adaptación a un espacio, y el segundo, identificar el tipo de comportamiento y actividades que un habitante tiene la intención de llevar a cabo en un espacio. Por lo tanto,

estas cuatro características se refieren a las propiedades físicas del espacio de un hábitat.

En este caso, se determinó como unidad de análisis la variable de habitabilidad. Esta selección se hizo con el fin de comprobar si esta variable podría ser un factor de análisis para identificar componentes relacionados con el concepto de resiliencia en edificios y en el hábitat urbano. Además, se encontró que el concepto de habitabilidad se discute generalmente en términos urbanísticos y arquitectónicos.

Sin embargo, los mecanismos utilizados para medir la habitabilidad de un hábitat urbano no son claros. Por lo tanto, fue necesario definir las variables de estudio en ocho unidades experimentales, y determinar unos lineamientos para un futuro estudio sobre el tema. Con esta herramienta se realizó el análisis del factor de habitabilidad, para determinar el grado de respuesta al cambio climático, a la resiliencia y a la sostenibilidad (ver tabla 7).

Con esta matriz de doble entrada se construyeron las siguientes unidades experimentales:

- 1) Habitabilidad es equivalente a la tecnología aplicada a los edificios, junto con el tipo de materiales usados para construirlos = (tecnología x material), $H = (A1\ B1)$.
- 2) Habitabilidad es equivalente a la tecnología de la construcción, junto con la consumición de recursos eficientes del edificio en su ciclo de vida. Habitabilidad = (tecnología x consumo eficiente de recursos), $H = (A1\ B2)$.
- 3) Habitabilidad es equivalente a la tecnología de la construcción junto con la posibilidad de implementar una estrategia de consumo de energía inferior. Habitabilidad = (tecnología x menor consumo de energía), $H = (A1\ C1)$.
- 4) Habitabilidad es equivalente a la tecnología de la construcción que se puede aplicar en el hábitat, junto con el ambiente sano que se puede generar en el tiempo. $H = (tecnología\ x\ salud)$, $H = (A2\ C2)$.
- 5) Habitabilidad es equivalente al medio ambiente mediante la construcción de materiales que componen dicho hábitat urbano. $H = (entorno\ x\ material)$, $R = (A2\ B1)$.
- 6) Habitabilidad es equivalente a la comodidad del entorno de un hábitat por el consumo de recursos del hábitat mismo. $H = (entorno\ x\ consumo\ eficiente\ de\ recursos)$, $R = (A2, B2)$.
- 7) Habitabilidad es equivalente a la calidad del hábitat por el consumo de la energía potencial de dicho hábitat. $H = (entorno\ x\ menor\ consumo\ de\ energía)$, $R = (A2\ C1)$.

- 8) Habitabilidad es equivalente a la calidad de vida de un hábitat en los espacios saludables que se pueden generar con el tiempo. $H = (entorno\ x\ salud)$, $R = (A2\ C2)$.
- 9) Además, se estimó la diferencia en la habitabilidad promedio factor de los componentes de calidad de la construcción (A1) y calidad de vida (A2), en los niveles de flexibilidad (B) y patrones sociales (C). Simple efecto se observó que es equivalente a $(A1\ B1) - (A2\ B2) - (C1, C2)$.
- 10) Los efectos principales del factor de habitabilidad de este modelo fueron la diferencia entre el promedio total para el componente de calidad de la construcción y el promedio total de la calidad de vida componente, es decir, $(A1) - (A2)$.
- 11) Por último, los efectos secundarios o la interacción del factor habitabilidad estimada por la diferencia de las unidades experimentales: $[(A2\ C2) - (A2\ C1) - (A2\ B2) - (A2\ B1)] - [(A1\ C2) - (A1\ C1) - (A1\ B2) - (A1\ B1)]$.

Para probar el concepto de habitabilidad fue necesario construir dos hojas de datos, para evaluar las variables de diseño (tablas 8 y 9).

- 12) La primera hoja de datos evaluó las variables de tecnología: materiales, consumo de recursos eficiente, menor consumo de energía y salud.
- 13) La segunda hoja de datos evaluó el medio ambiente, utilizando las mismas cuatro variables de la hoja de datos anterior.

- 14) Para las diferentes variables se determinó un puntaje cuantitativo para poder cuantificarlas. La escala de evaluación fue de 1 a 100 puntos, con cuatro categorías de puntaje: 100, muy bueno; 70, bueno; 50, malo; y 1, muy malo. Cabe anotar que este puntaje aún está en proceso de calibración y perfeccionamiento.
- 15) Luego, se diseñó un modelo de simulación estocástica. La información del trabajo de campo fue simulada; para ello, se utilizaron las mismas variables y parámetros del trabajo de campo. Para realizar las simulaciones fue necesario organizar tres grupos de datos: dos grupos experimentales y el último fue clasificado como grupo de control.

Luego se realizó un experimento utilizando MS Excel. En primer lugar, los cálculos se llevaron a cabo introduciendo números de forma aleatoria en una matriz de diferentes variables propuestas. El modelo se midió mediante 30 simulaciones, divididas en tres grupos.

Para tener un mejor punto de vista objetivo, los grupos se dividieron en dos partes. El primero fue el grupo control (Grupo 1, ver gráfica 5) y los otros eran los grupos experimentales (Grupo 2 y 3, ver gráficas 6 y 7). Luego se calculan el efecto global, los efectos individuales, el efecto principal y el efecto de la interacción entre las variables. El término simulación de un proceso estocástico significa que las variables se estudian a partir del análisis del tiempo. Es decir, desde el día de hoy hacia el futuro. Con ello se plantean posibles escenarios. A continuación, se grafican los pasos del trabajo de campo (ver gráfica 1):

El estudio muestra que actualmente el factor de habitabilidad en el barrio es ineficiente, y es posible que la sostenibilidad del barrio esté muy pronto en peligro. Es importante implementar una serie de estrategias con el fin de dar un mejor punto de vista para el diseño de estrategias sostenibles. Un modelo de simulación fue creado para poner a prueba el factor de habitabilidad para el uso futuro en el barrio.

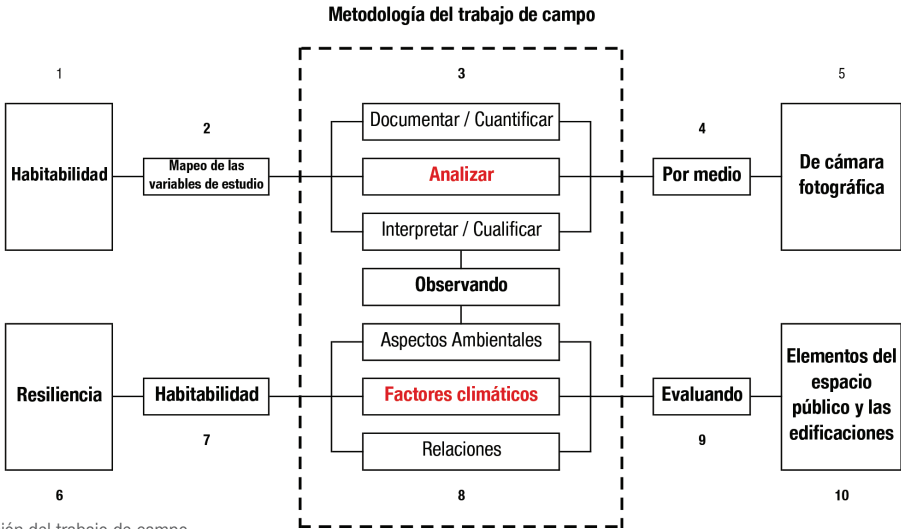


Figura 30. Pasos para la realización del trabajo de campo.

Resultados de la fase cualitativa

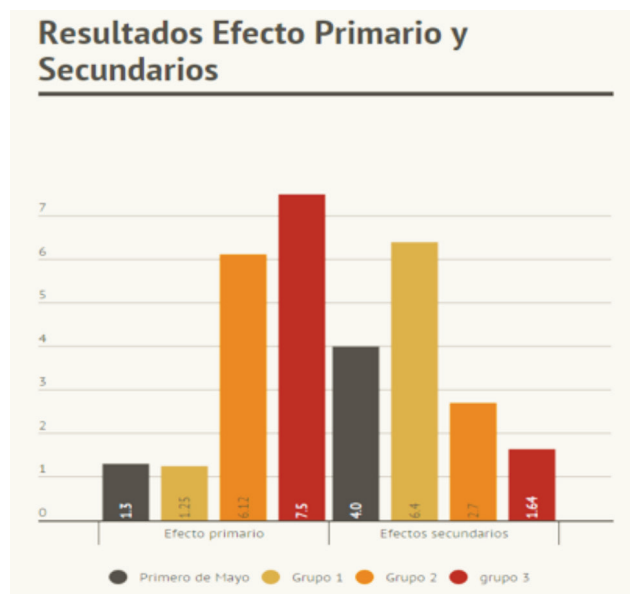


Figura 31. Resultados efecto primario y efectos secundarios.

Se observó que, en cuanto a los efectos generales de la interrelación entre las variables de estudio, cada uno afecta el hábitat urbano de una manera similar. Por ejemplo, el principal impacto sin estrategias sostenibles es 7,5% en trabajo de campo, con base en la información. El grupo control muestra que el impacto es 6,5% si se implementan estrategias sostenibles. Los grupos experimentales muestran que, si usted combina dos de las tres variables al mismo tiempo, el impacto ambiental es de 1,30% a 1.25%. Esto demostró el importante impacto de las estrategias sostenibles (ver figura 31). Sin embargo, este tipo de acciones tendría efectos secundarios que, en el caso del barrio Primero de Mayo y el grupo 1, están de 4.0% a 6,4%. Por otra parte, grupos de dos y tres muestran de 2,7% a 1,64% del impacto al medio ambiente y tecnología. En todos estos casos, estos porcentajes son negativos (ver figura 32).

Relaciones

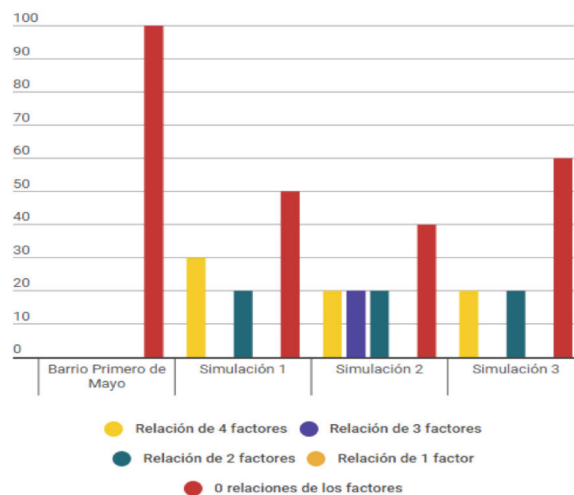


Figura 32. Resultados de las relaciones entre factores.


Uno puede ver que el efecto principal se refleja en el comportamiento de las variables tecnología y medio ambiente, en relación con el factor de habitabilidad. Los resultados del modelo muestran que un alto impacto ambiental, en un entorno urbano, afecta las condiciones de habitabilidad. También muestra que un alto impacto ambiental afecta la flexibilidad. Es decir, la habitabilidad de un hábitat urbano depende de la culminación de varias acciones, que responden juntas al sistema afectado. Por último, el modelo muestra que las variables de eficiencia energética versus el elemento material de habitabilidad afectan a los edificios, y esto, a su vez, afecta las variables de flexibilidad de un hábitat urbano. Esto significa que habrá una mayor necesidad de habitabilidad, ya que el hábitat urbano no tiene la capacidad para responder a los cambios del usuario (ver tabla 3).

Tabla 2. Hoja de datos No. 1 Factor calidad de la edificación vs flexibilidad y patrones sociales.

Factor	Calidad de la Edificación (Factor 1) Puntos	Flexibilidad 1-100 Puntos	(Factor 3)	Patrones sociales 1-100 Puntos	(Factor 4)
Variable	Tecnología A1	Materiales B1	Eficiencia en el consumo de recursos B2	Bajo consumo energético C1	Salud C2
Manzana 1	30	20	30	30	30
Manzana 2	40	30	30	40	50
Manzana 3	40	40	30	50	30
Manzana 4	40	30	40	60	40
Manzana 5	50	20	40	40	40
Manzana 6	60	30	20	50	30
Manzana 7	50	20	40	40	40
Manzana 8	50	50	50	80	60
Manzana 9	40	40	50	60	40
Manzana 10	60	30	50	50	50
Manzana 11	70	30	60	80	60
Promedio	48	31	40	53	43
Media	50	30	40	50	40
Moda	40	30	30	40	40

Tabla 3. Hoja de datos No. 2 Factor calidad de vida vs flexibilidad y patrones sociales.

Factor	Calidad de Vida (Factor 2) Puntos	Flexibilidad 1-100 Puntos	(Factor 3)	Patrones sociales 1-100 Puntos	(Factor 4)
Variable	Ambiente A2	Materiales B1	Eficiencia en el consumo de recursos B2	Bajo consumo energético C1	Salud C2
Manzana 1	30	60	50	30	30
Manzana 2	30	60	50	20	90
Manzana 3	20	50	60	10	20
Manzana 4	30	60	80	70	70
Manzana 5	30	50	60	10	20
Manzana 6	40	20	20	60	20
Manzana 7	30	30	50	20	10
Manzana 8	30	40	40	10	70
Manzana 9	20	50	20	60	50
Manzana 10	20	60	30	20	30
Manzana 11	40	50	10	60	30
Promedio	29	48	43	34	40
Media	30	50	50	20	30
Moda	30	60	50	20	30



Resultados de la fase cuantitativa

En la fase cuantitativa, la metodología propuesta se centró en el análisis de las relaciones y características entre las variables independientes resiliencia, eficiencia energética y habitabilidad. A continuación, se procedió a elaborar un modelo teórico que detalla el análisis factorial de la resiliencia, a fin de evaluar la eficiencia energética en un hábitat urbano.

Para identificar las relaciones y las características de las variables seleccionadas, se aplicaron dos técnicas, a saber: el análisis factorial y la investigación de operaciones. El análisis factorial identificó la interrelación de las tres variables independientes, a través de la construcción de una nueva matriz de dos niveles. La matriz permitió determinar cuál es la relación y el efecto de la habitabilidad y la capacidad de resiliencia en la eficiencia energética de un territorio.

La investigación de operaciones (Muñoz & Ochoa, 2011) permitió la construcción de un modelo matemático para un experimento teórico, el cual posibilitó observar el comportamiento del factor de resiliencia en un hábitat urbano. A partir de estas dos técnicas, estos fueron los pasos siguientes: 1) Identificación de las variables independientes y dependientes; 2) Construcción de unidades experimentales que mostraron las relaciones entre las variables; 3) Identificación de los efectos de estas interrelaciones, y 4) Identificación de las fortalezas y limitaciones del modelo diseñado.

Como se dijo anteriormente, para la construcción del factor de resiliencia se seleccionaron dos variables independientes: habitabilidad y eficiencia energética. La habitabilidad se relaciona con la forma y el uso del espacio de un hábitat urbano. Los componentes seleccionados

para caracterizar la habitabilidad fueron: flexibilidad y comodidad. La primera es para identificar el grado de adaptación de un espacio y la segunda identifica el grado de confort que un habitante requiere en un espacio. Por lo tanto, estas dos características se refieren a las propiedades físicas del espacio en un hábitat urbano.

Para esta investigación, la resiliencia se determina como la unidad de análisis. Esta selección se hizo con el fin de verificar si la variable resiliencia podría ser un factor de análisis, utilizado para evaluar la eficiencia energética de los edificios. Además, se identificó que el concepto de resiliencia, en general, se discute en términos urbanos. En consecuencia, se requiere un análisis del comportamiento de la capacidad de recuperación de un hábitat y cómo esto influye en su respuesta al cambio climático y la sostenibilidad. Por lo tanto, para analizar dichos comportamientos se establecieron las siguientes cuatro unidades experimentales (tabla 10):

- 1) La resiliencia es equivalente a la flexibilidad del material por un espacio que conforma dicho espacio. Resiliencia = (Flexibilidad x material), $R = (A1 \ B1)$.
- 2) La resiliencia es equivalente a la comodidad de un espacio por la materialidad del mismo espacio. Resiliencia = (Confort x material), $R = (A2 \ B1)$.
- 3) La resiliencia es equivalente a la espacialidad de un edificio por el potencial de flexibilidad espacial de dicho edificio. Resiliencia = (Flexibilidad x edificación), $R = (A1 \ B2)$.
- 4) La resiliencia es equivalente a la espacialidad de un edificio por la comodidad que se puede generar con el tiempo. Resiliencia = (Confort x edificación), $R = (A2 \ B2)$.

Además, la diferencia en el factor medio de la resiliencia para la flexibilidad, componentes (A1) y Confort (A2) en el nivel de factor de eficiencia de energía, se estimó material del componente (B1). Simplemente se observó que $(A1 \ B1) - (A2 \ B2)$. Los principales efectos del factor de habitabilidad, para este modelo, fueron la diferencia entre el promedio total para el componente de la flexibilidad y la media total para el componente de confort, es decir, $(A1) - (A2)$. Finalmente, los efectos secundarios o la interacción entre el factor de resistencia y el factor de habitabilidad se estimaron por la diferencia de las unidades experimentales: $[(A2 \ B2) - (A1 \ B2)] - [(A2 \ B1) - (A1 \ B1)]$.

La prueba de este modelo en la vida real evidenció que es necesario cubrir, en el trabajo de campo, una mayor acotación de los instrumentales que no pudieron ser cubiertos por esta investigación. En consecuencia, para esta fase se optó por una versión simplificada o prototipo experimental (Ríos, Ríos y Martín, 2009). A continuación, se realizó un modelo lógico-matemático para describir, por medio de la estimulación del comportamiento básico, el factor de resiliencia y enfrentarlo a factores de habitabilidad y eficiencia energética.

Por tanto, se realizó un nuevo experimento usando MS Excel (ver tabla 11). En primer lugar, los cálculos se realizaron mediante la introducción de números aleatorios en una matriz de diferentes variables propuestas. El modelo se midió por 400 simulaciones. Una muestra de 10% fue tomada, con la cual se hizo el modelo de análisis. Finalmente, se calcularon el efecto general, el efecto primario, el efecto simple y la relación entre las variables.

Tabla 4. Diseño factorial simulación fase cuantitativa.

Diseño Factorial

		Habitabilidad (factor 1)		
		Flexibilidad (A1)	Confort (A2)	
Eficiencia energética (factor 2)	Material (B1)	Resiliencia (A1 B1)	Resiliencia (A2 B1)	Relaciones
	Edificación (B2)	Resiliencia (A1 B2)	Resiliencia (A2 B2)	

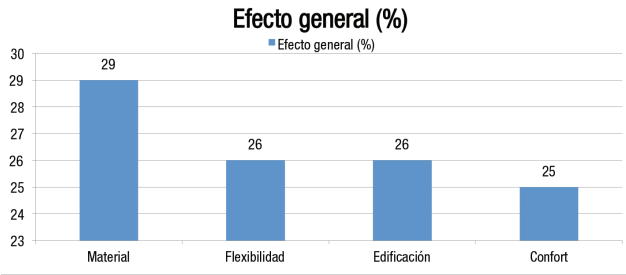
Unidades experimentales

Resiliencia = (Flexibilidad x Material)	R = (A1 B1)
Resiliencia = (Confort x Material)	R = (A2 B1)
Resiliencia = (Flexibilidad x Edificación)	R = (A1 B2)
Resiliencia = (Confort x Edificación)	R = (A2 B2)

Efectos Unidades Experimentales

1)	$\bar{X} (B1) = \frac{(A1 B1) + (A2 B1)}{2}$
2)	$\bar{X} (B2) = \frac{(A1 B2) + (A2 B2)}{2}$
3)	$\bar{X} (A1) = \frac{(A1 B1) + (A1 B2)}{2}$
4)	$\bar{X} (A2) = \frac{(A2 B1) + (A2 B2)}{2}$

Fuente: Cubillos (2015).



Se observó que, en general, cada una de las variables de estudio afecta el hábitat urbano de una manera similar. Se observó que, con respecto al efecto general de la relación entre las variables de estudio, cada uno afecta el hábitat urbano de una manera similar. Por ejemplo, el material de variables dependientes genera 29% de impacto, que ocupa la posición primaria, y la variable edificio genera 26% de impacto, ocupando la segunda. Del mismo modo, la variable flexibilidad produce 26% de impacto y la variable de confort genera 25%. Esto sugiere que las tres primeras variables deben ser altamente resilientes en un hábitat urbano (ver figura 33).

También se identificó que los efectos de estas cuatro variables pueden tener un impacto máximo del 35% y un mínimo del 15%. En cuanto a la variable de materiales, se observó que puede verse afectada por criterios de confort en un 8%. Del mismo modo, la comodidad se ve afectada por la variación de los factores determinantes de material en un 7%. Esto señaló una relación directa entre los criterios de diseño y selección de material. Este asunto es fundamental para determinar las propiedades elásticas de un material en el proceso de diseño y construcción de un hábitat urbano.

Uno puede ver que el efecto primario se refleja en el comportamiento de los factores de habitabilidad y eficiencia energética con respecto a la variable resiliencia. Los resultados del modelo muestran que un alto impacto ambiental, en un entorno urbano, afecta las condiciones de habitabilidad y eficiencia energética en un 50%.

Figura 33. Resultados efecto general de la fase cuantitativa.
Fuente: Cubillos (2015)

Mientras que si estos mismos impactos tienden a 0 las condiciones de vida y el aumento de la eficiencia energética se afectan un 50%. Por lo tanto, son directamente proporcionales (ver figura 34).

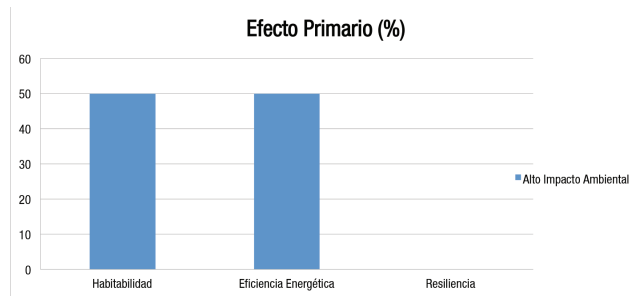


Figura 34. Resultados efecto primario de la fase cuantitativa.
Fuente: Cubillos (2015).

En cuanto a los efectos secundarios, el estudio encontró que la capacidad de flexibilidad de un entorno urbano ofrece un único impacto positivo. En este caso, el impacto positivo de flexibilidad variable fue del 5%, seguido de 4% de la variable material y finalmente 3% de la variable comodidad. Esto demuestra que la flexibilidad es de suma importancia cuando se garantiza que un entorno urbano será suficientemente elástico al enfrentar un cambio inesperado, como el clima extremo (ver figura 35).

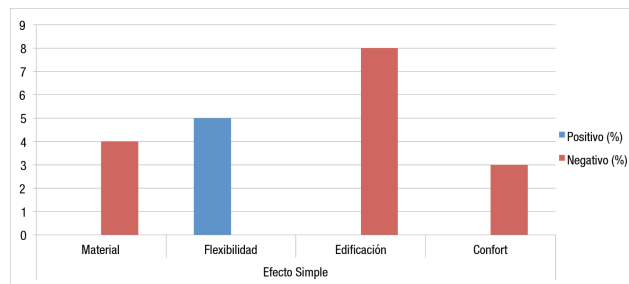


Figura 35. Resultados efecto simple de la fase cuantitativa.
Fuente: Cubillos (2015).

El modelo muestra que un alto impacto ambiental afecta la flexibilidad, el confort y la construcción de una edificación hasta en un 80% de impacto negativo; seguido del material con un 40% y el confort con un 30% de impacto negativo. En promedio, el interés individual de cada una de estas variables es del 15%. Esto demuestra una fuerte relación entre las variables al enfrentar acontecimientos inesperados. Sin embargo, se presenta un 50% de impacto positivo en el proceso de adaptación del hábitat urbano, lo que permite deducir que la flexibilidad es directamente proporcional a la resiliencia. Es decir, la capacidad de recuperación de un hábitat urbano depende de la culminación de varias acciones de flexibilidad, las cuales, juntas, responden al sistema afectado (ver figura 36).

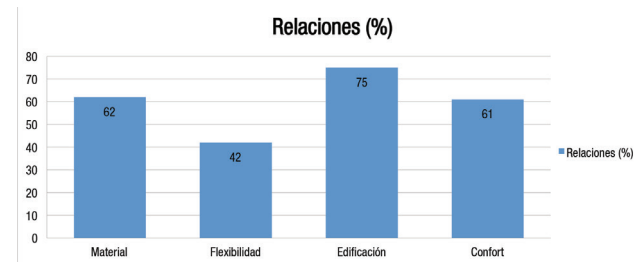


Figura 36. Relaciones entre las variables de estudio de la fase cuantitativa.
Fuente: Cubillos (2015).

Por último, el modelo mostró que las variables de eficiencia energética, en comparación con el elemento material de la resiliencia, afectan el diseño del edificio y esto, a su vez, afecta la comodidad y la flexibilidad de un hábitat urbano. Es decir, habrá una mayor necesidad de resiliencia, ya que el hábitat urbano puede no tener la capacidad de responder a los cambios repentinos.

Tabla 5. Modelo de simulación por MS Excel fase cuantitativa.

Relaciones									
B1 Promedio material					A1 Promedio flexibilidad				
Flexibilidad A1	Material B1	Confort A2	Material B1	Relaciones $((a1\ b1)+(a2\ b1))/2$	Flexibilidad A1	Material B1	Flexibilidad A1	Edificación B2	Relaciones $((a1\ b1)+(a2\ b1))/2$
4	2	6	5	20	4	1	9	1	7
6	3	8	2	18	9	4	7	9	53
9	3	7	2	18	7	0	8	2	7
4	2	4	9	19	7	4	5	7	35
8	4	6	8	40	4	3	2	2	7
2	9	3	6	18	2	2	1	8	5
3	4	8	3	17	1	3	7	1	4
9	3	9	0	16	9	2	3	4	16
8	7	5	9	53	7	2	5	8	27
6	2	5	3	12	9	9	4	6	50
B2 Promedio edificio					A2 Promedio confort				
Flexibilidad A1	Edificación B2	Confort A2	Edificación B2	Relaciones $((a1\ b2)+(a2\ b2))/2$	Confort A2	Material B1	Confort A2	Edificación B2	Relaciones $((a1\ b2)+(a2\ b2))/2$
9	4	4	4	24	2	5	1	4	8
8	6	5	5	37	4	6	4	8	30
9	3	6	5	27	7	8	2	6	33
3	9	5	1	17	7	1	5	8	24
2	3	7	6	22	6	5	1	5	18
3	4	4	0	6	7	8	7	6	48
6	4	3	10	25	1	7	10	10	52
2	2	3	2	6	8	3	0	10	13
0	6	2	10	9	4	7	1	3	15
6	8	6	9	49	8	3	6	9	42

Fuente: Cubillos (2015).

Análisis de ciclo de vida de los materiales de las viviendas del barrio Primero de Mayo

Para finalizar, se realizó un análisis de ciclo de vida de los materiales de las viviendas del barrio Primero de Mayo. Para ello se escogieron aleatoriamente tres casas del barrio y se evaluaron según el tipo de materiales utilizados en la construcción. En las viviendas se analizaron los siguientes materiales: ladrillos, arcilla, vidrio plano y madera hendida. Se utilizó el algoritmo Europe EI 99 H/A. Se obtuvieron unos ecoindicadores ponderados y se analizó el ciclo de vida de los materiales. Todo el estudio se realizó con el programa SigmaPro (2015). En la gráfica 8 se muestra un ejemplo de los materiales introducidos en el programa.

Se estudió cómo afectaban los 4 materiales mencionados en tres aspectos: salud humana, calidad del ecosistema y recursos. Tal como se observa en la gráfica 9, la salud humana es la más afectada por el vidrio en comparación con los otros materiales en lis, en donde su impacto es menor. Con respecto a la calidad del ecosistema, el que más la afecta es la madera. Y, finalmente, respecto a los recursos, el de mayor impacto es el vidrio.

El estudio se hizo teniendo en cuenta 1 kg de los materiales mencionados. Se tomaron estos por muy utilizados en las viviendas del barrio Primero de Mayo. Las características de las bases de datos del programa fueron las mismas de los materiales. Se tuvieron en cuenta las siguientes variables: recursos de agua consumidos, ozono emitido, recursos energéticos consumidos, principales partículas emitidas en PM, metales pesados en el agua, recursos minerales utilizados, sustancia en el aire, un agente físico, químico o biológico potencialmente capaz de producir cáncer al exponerse a tejidos vivos.

También se tuvieron en cuenta los pesticidas en los sólidos, la tierra utilizada, los metales pesados en sólidos y

líquidos, el calentamiento global, agua contaminada y las sustancias radioactivas.

El análisis se puede observar en la figura 37. En ella se ve que el material que más impacta es el vidrio, después el bloque y finalmente la madera, destacando en el aspecto de calentamiento global y en los recursos consumidos. También se compararon nuevamente los cuatro materiales de forma porcentual, con respecto a los indicadores mencionados anteriormente, tal como se observa en la figura 40, destacando nuevamente que el mayor impacto es el del vidrio, prácticamente en todos los indicadores, exceptuando en la ecotoxicidad. El material que claramente menos impacta es la arcilla.

En la figura 40, el impacto de la madera es mayor en ecotoxicidad y en todo lo referente a agua. Los ladrillos aumentan en el aspecto de toxicidad humana y de residuos. En el resto de indicadores su impacto es en torno al 30%, mientras en vidrio está en torno al 100% comparativamente.

Ahora bien, la figura 41 continúa el análisis, pero cambiando los materiales a analizar. Los materiales tenidos en cuenta ahora, de acuerdo a lo observado en el barrio Primero de Mayo, son: ladrillo, arcilla, vidrio, polícarbonato granulado y hierro fundido. Tal como se indica en la primera parte de la gráfica con respecto a la salud humana, el que más afecta es el polícarbonato granulado, seguido del hierro fundido. En calidad del ecosistema es muy bajo en todos los materiales, pero en el gasto de recursos el más alto, sustancialmente, es el polícarbonato granulado.

Asimismo, en cuanto al impacto de los materiales, se observa, en la figura 38, que el de mayor impacto es el hierro fundido, seguido del polícarbonato granulado y el

vidrio. En los aspectos que hay mayor impacto son en los recursos, el consumo material, el calentamiento global y en metales pesados. En el caso del hierro fundido hay un cierto porcentaje que puede considerarse cancerígeno.

También, se realizó nuevamente el estudio comparativo en porcentaje entre los materiales, siendo el mayor en casi todos los ítems el hierro fundido y el polícarbonato granulado (ver figura 41). En algún aspecto puntual referente al ozono o al agua, el porcentaje del vidrio es alto. En los aspectos relacionados con el hombre el mayor es el del hierro fundido y los relacionados con el ozono, para la acidificación y el calentamiento global el material de mayor impacto es el polícarbonato granulado.

En el último estudio comparativo de los materiales (ver figura 39), se consideraron los siguientes: vidrio, perfiles de aluminio, bloques de concreto, teja de hormigón y arcilla. Materiales estudiados: vidrio, aluminio obtenido por extrusión, bloques de concreto, concreto utilizado en el tejado y arcilla. Se estudian tres indicadores: salud humana, calidad del ecosistema y recursos. El aluminio y el vidrio son los materiales que más impactan en los tres indicadores, el aluminio más en la salud y en los recursos, el vidrio en la calidad del ecosistema.

Y, finalmente, en el estudio comparativo porcentual entre los materiales, los que más afectan es el vidrio y el aluminio, tal como se observa en la figura 42. Por un lado, el aluminio afecta al calentamiento global, al ozono, a la acidez y a los aspectos humanos; el vidrio afecta al ozono, a los aspectos humanos, al agua, entre otros. También el concreto tiene cierto impacto en diferentes aspectos, como en humanos pero, en general, menor que los otros materiales mencionados.

SimaPro 8.0.4.30 Educational
Proyecto: Barrio 1° de Mayo-Bogotá 2016

Análisis de impacto

Fecha: 28/01/2016 Hora: 03:36:17 p.m.

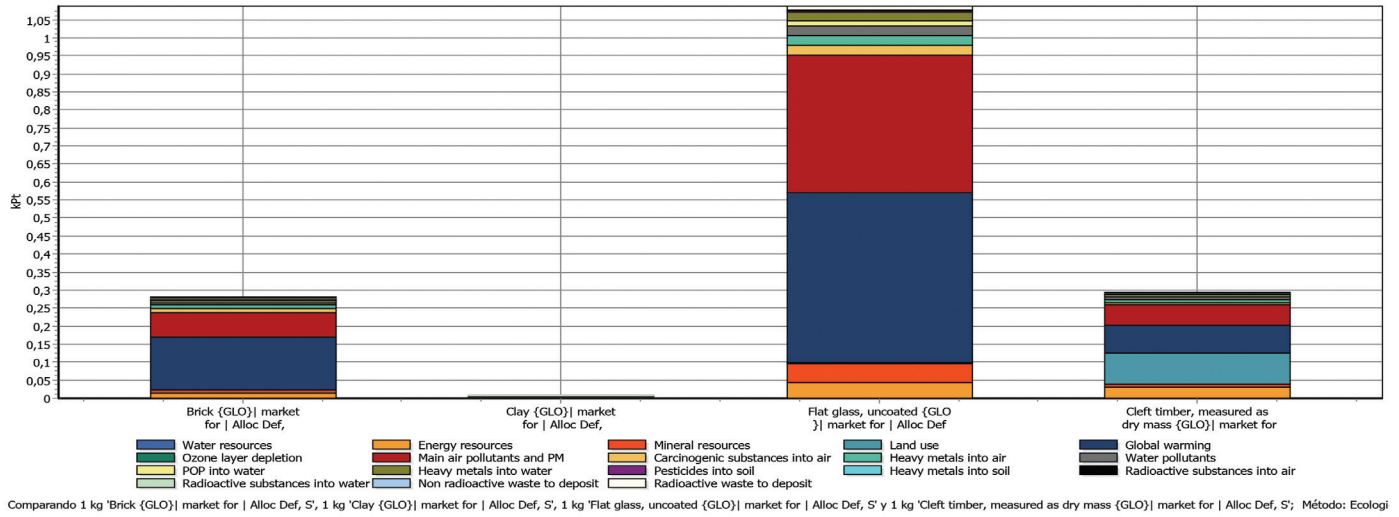


Figura 37. Análisis ciclo de vida de los materiales de las viviendas del barrio Primero de Mayo.

SimaPro 8.0.4.30 Educational
Proyecto: Barrio 1° de Mayo-Bogotá 2016

Análisis de impacto

Fecha: 28/01/2016 Hora: 04:02:52 p.m.

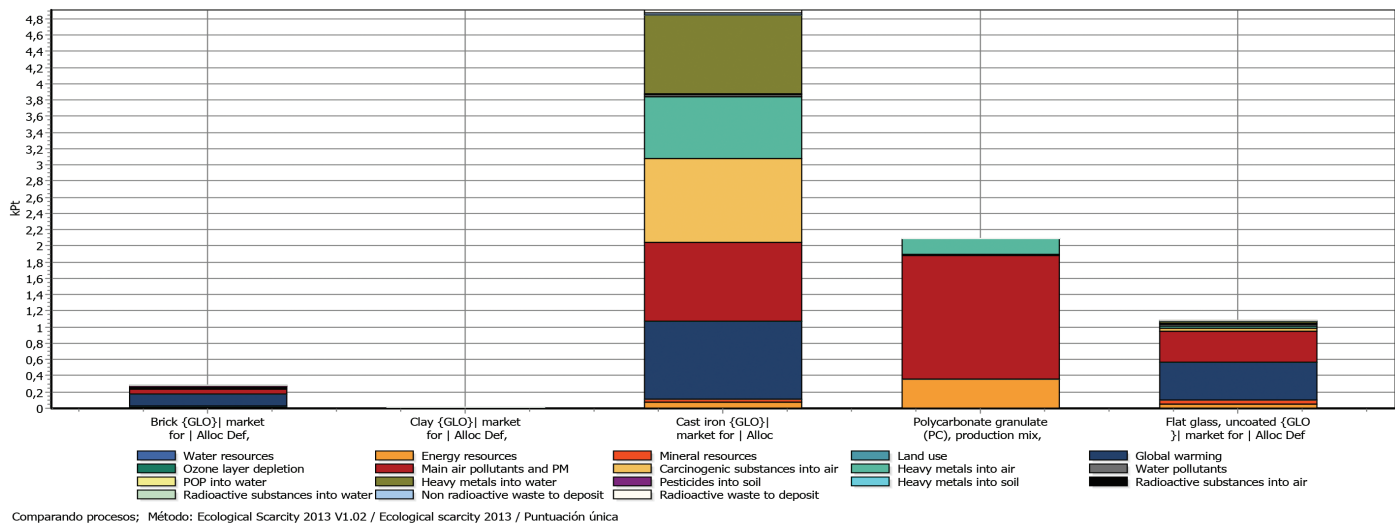


Figura 38. Análisis ciclo de vida de los materiales de las viviendas del barrio Primero de Mayo.

SimaPro 8.0.4.30 Educational
Proyecto: Barrio 1° de Mayo-Bogotá 2016

Análisis de impacto

Fecha: 28/01/2016 Hora: 04:08:46 p.m.

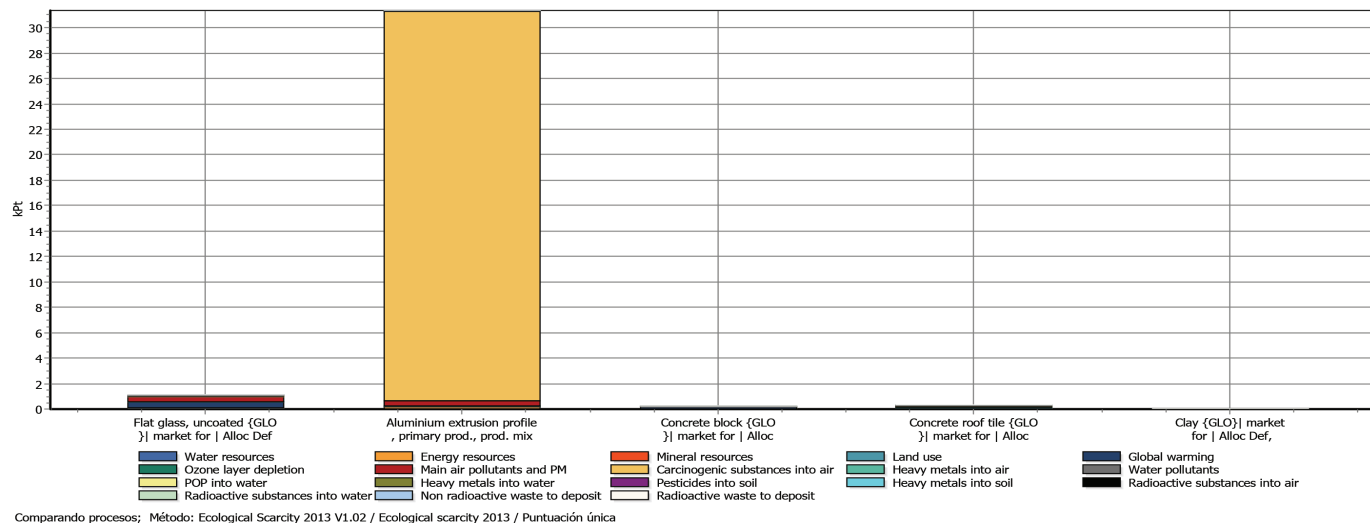


Figura 39. Análisis ciclo de vida de los materiales de las viviendas del barrio Primero de Mayo.

SimaPro 8.0.4.30 Educational
Proyecto: Barrio 1° de Mayo-Bogotá 2016

Análisis de impacto

Fecha: 28/01/2016 Hora: 04:01:40 p.m.

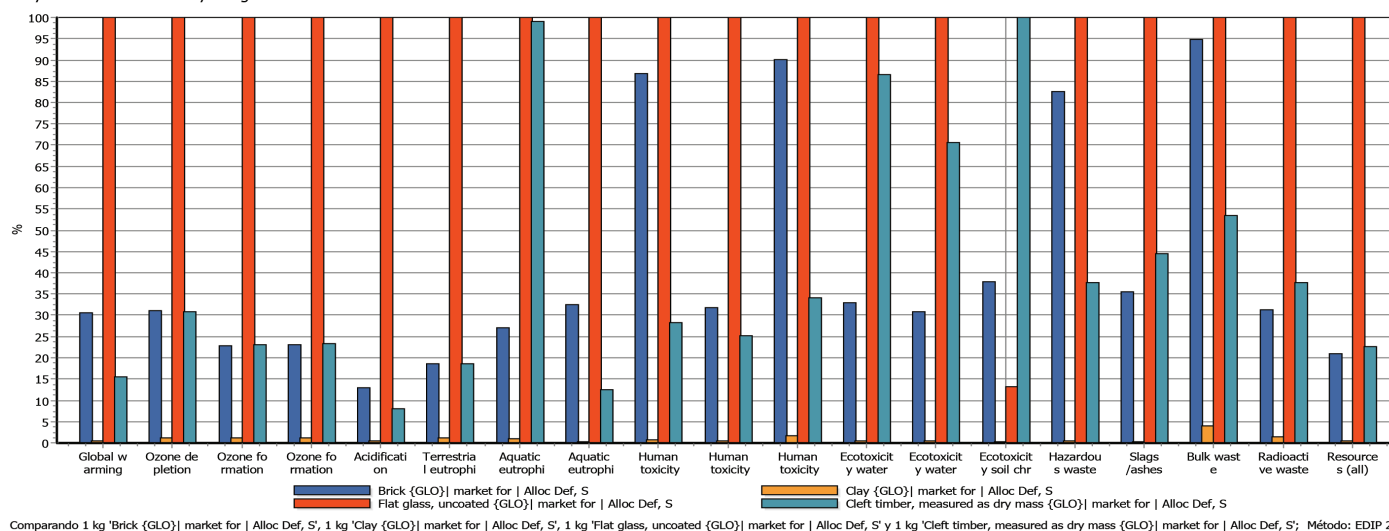


Figura 40. Análisis ciclo de vida de los materiales de las viviendas del barrio Primero de Mayo.

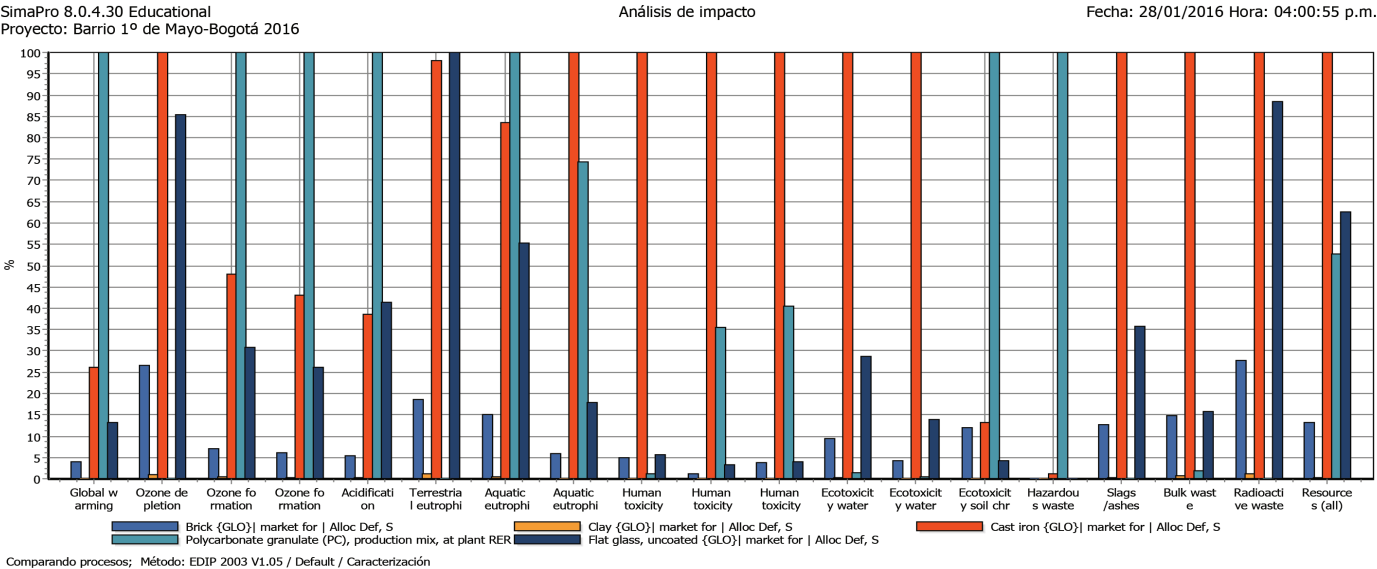


Figura 41. Análisis ciclo de vida de los materiales de las viviendas del barrio Primero de Mayo.

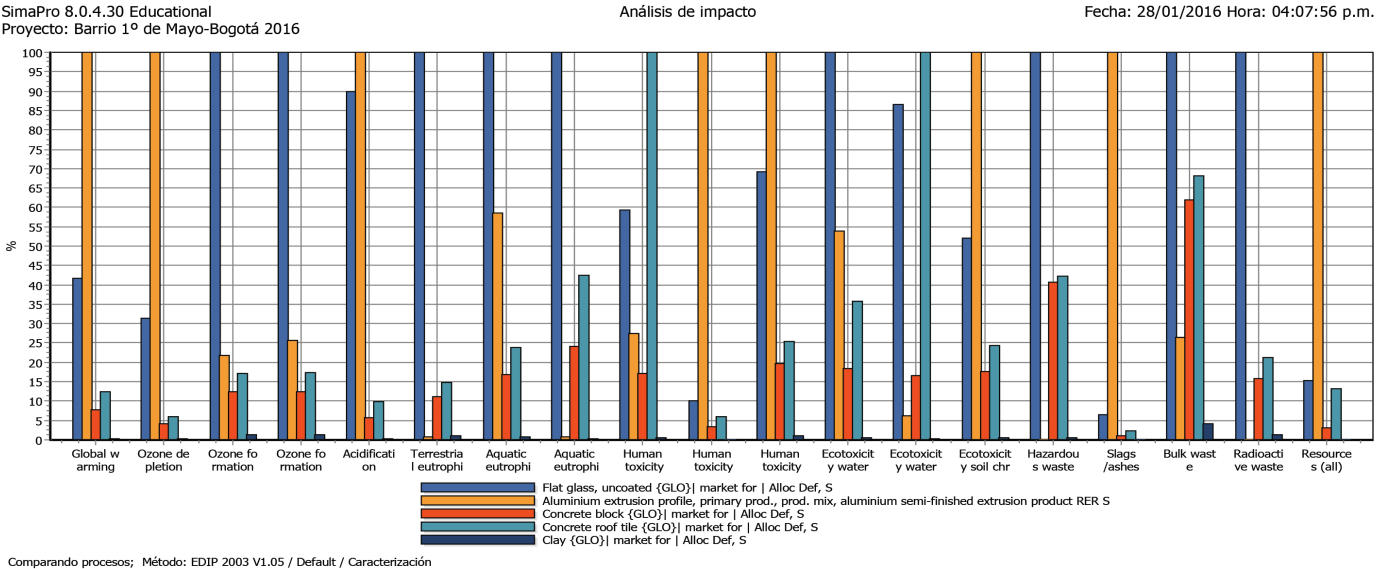


Figura 42. Análisis ciclo de vida de los materiales de las viviendas del barrio Primero de Mayo.



Para finalizar, los estudios identificaron la importancia de satisfacer la necesidad de resiliencia en las ciudades colombianas y, en consecuencia, los resultados proponen implementar un modelo que puede responder a esa necesidad, optimizando la sostenibilidad de un hábitat urbano. Los resultados del experimento también han evidenciado una mejor manera de definir el concepto de territorios resilientes.

El modelo determina el comportamiento de las diferentes variables que intervienen y, a su vez, la capacidad de adaptación y flexibilidad que tiene un hábitat urbano, es decir, la facilidad para reorganizarse y mantenerse en condiciones óptimas. Además, el modelo muestra una gran capacidad de regeneración, lo que permite un territorio resiliente que garantiza respuestas óptimas a los dramáticos cambios causados por el cambio climático.

Por ejemplo, no es condición suficiente que una vivienda esté construida con materiales que tienen una variable física de resiliencia alta para ser resiliente, pero sí es una condición necesaria. Por ello, se sugiere que, en la ficha técnica de un material de construcción, se tenga en cuenta la variable física de resiliencia. En general, puede haber

muchos materiales con variable física de resiliencia alta, pero con costos elevados; por lo tanto, se debe buscar un compromiso entre costo y resiliencia, lo cual es complejo y depende de muchos factores. Hay que tener en cuenta que no existe un material ideal, con resiliencia óptima, que se ajuste a todas las situaciones de construcción.

En general, las viviendas del barrio Primero de Mayo en Bogotá, desde el punto de resiliencia de los materiales, se pueden considerar bastante resilientes, ya que son robustas y pueden soportar fenómenos de cambio climático extremos pero, como contrapartida, son poco resilientes desde un punto de vista adaptativo, es decir, tienen una capacidad media de adaptación ya que son poco flexibles. No obstante, tienen un problema: no están pensadas ni diseñadas para una alta eficiencia energética; más bien todo lo contrario, su eficiencia energética es muy baja (valor en vatios promedio por área: W/m² en Bogotá).

Es clave, en cualquier diseño, una adecuada selección de materiales, para ello el diseñador debe conocer los nuevos materiales de construcción y sus principales características y propiedades, de tal forma que la selección sea la más adecuada. No se puede decir que existe un material único e ideal para la construcción de viviendas residenciales en Bogotá. Las variables climatológicas como temperatura, humedad relativa, dirección del viento y pluviosidad, entre otras, deben conocerse en detalle antes de realizar el diseño, ya que lo condicionarán sustancialmente, sobre todo si se busca un diseño resiliente.

Se constató la variación sustancial de variables climáticas, en los últimos 30 años, en la ciudad de Bogotá. Una eficiencia energética adecuada en los materiales y en el diseño es un factor determinante para ir hacia una

ciudad resiliente; sin embargo, en Bogotá, en el barrio Primero de Mayo, se constató una eficiencia energética baja. Se proponen para la ciudad procesos de rehabilitación de vivienda desde un punto de vista energético, con el fin de mejorar su eficiencia, sobre todo para disminuir el gasto de aire acondicionado y de luz. Se observó el deterioro sensible de algunos materiales en las viviendas del barrio, tales como humedades, grietas y biodeterio.

Se llegó a la conclusión de que no es suficiente el ahorro de energía en un territorio, más bien es necesario que el territorio tenga la capacidad de adaptarse continuamente, para permitir ajustes frente al cambio climático. Por lo tanto, la capacidad de recuperación se produce cuando diferentes componentes del territorio generan una reducción en los impactos y continúan operando, de manera óptima, sin grandes pérdidas.

El análisis del factor de resiliencia pretende garantizar la adaptación del consumo de energía mediante la identificación de patrones sociales, para entender la dinámica del territorio frente al cambio climático. Asimismo, se identificó que la estructura de un territorio debe ser flexible para garantizar un equilibrio adecuado entre la habitabilidad, la eficiencia energética y el territorio, en respuesta al cambio climático, por lo que, cuando se produce un evento extremo, se puede reorganizar y mantenerse las mismas funciones y estructuras.

La futura aplicación de este modelo va orientada al diseño de prototipos que permitirán el desarrollo de nuevas herramientas, para probar la habitabilidad de los edificios. Estos prototipos también pueden tener la capacidad de identificar las necesidades de los diferentes usuarios en un edificio, por medio de las variables de modelado y

simulación. Por ejemplo, las variables de cálculo bioclimáticas y la flexibilidad de vivienda pueden permitir la evaluación de los edificios y su impacto en el medio ambiente.

Debido a los efectos del cambio climático, se propone diseñar y construir viviendas en el futuro que tiendan a ser resilientes, siendo uno de los aspectos fundamentales la selección de materiales. La eficiencia energética y la sostenibilidad se consideran etapas previas hacia una construcción resiliente. En general, cuanto más resiliente es una vivienda mayor habitabilidad y durabilidad en el tiempo tendrá. En términos físicos e ingenieriles, la mejor manera de estudiar la resiliencia es a través de los materiales que conforman la vivienda, siendo la variable física resiliencia clave, pero no la única a tener en cuenta.